



نسخ از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال یازدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۸
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.11, No. 4, Winter 2020

۱۰۱-۱۲۰

تخمین شوری خاک در بستر خشک شده دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر اپتیک سنتینل 2B و مدل های رگرسیون خطی چندمتغیره

نسا فرهمند^{۱*}، وحید صادقی^۲، شهره فرهمند^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

۲. استادیار گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

۳. دکتری شیمی آلی، دانشکده شیمی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۰۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۱۹

چکیده

شوری خاک، یکی از شایع ترین و مهم ترین عوامل تخریب اراضی در مناطق خشک و نیمه خشک بوده و پایش و مدیریت صحیح آن امری ضروری است. در کشور ایران، بسیاری از اراضی کشور، در معرض افزایش شوری خاک قرار گرفته است که از مهم ترین آنها می توان به سواحل دریاچه ارومیه اشاره کرد. از آنجا که تکنیک های سنجش از دور، روشی کارآمد و مقرون به صرفه در پایش شوری خاک هستند، در سال های اخیر بهره گیری از این فناوری توسعه چشمگیری یافته و مدل های مختلفی برای این منظور توسعه داده شده است. از جمله پرکاربردترین آن ها، می توان به مدل های رگرسیون خطی اشاره کرد. این تکنیک ها، عمدتاً تک متغیره بوده و تلفیق باندهای طیفی در تخمین شوری خاک مغفول واقع شده است. در تحقیق حاضر، به منظور بهبود تخمین شوری خاک با تصاویر چندطیفی، مدل های رگرسیون خطی چندمتغیره پیشنهاد شده است. روش پیشنهادی، به طور همزمان، پتانسیل محدود ولی متفاوت باندهای طیفی مختلف را بکار گرفته و انتظار می رود به دقت های بالایی در تخمین شوری خاک بیانجامد. به منظور ارزیابی روش پیشنهادی، میزان شوری خاک در بستر خشک شده دریاچه ارومیه اندازه گیری شد. داده اصلی مورد استفاده در این تحقیق، تصویر چندطیفی سنتینل 2B است که در تاریخ ۱۶ اکتبر ۲۰۱۸ از منطقه مورد مطالعه اخذ شده است. در تحقیق حاضر، از ۸ باند طیفی تصویر سنتینل (باندهای مرئی و مادون قرمز) و ۱۷ شاخص شوری برای تخمین شوری خاک استفاده شد. برای کالیبراسیون مدل ها و ارزیابی صحت آنها در تخمین شوری خاک، طی عملیات صحرایی، تعداد ۲۸ نمونه آموزشی و ۱۰ نمونه ارزیابی در زمان گذر ماهواره از سطح منطقه مورد مطالعه جمع آوری شده و هدایت الکتریکی آنها، در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه تبریز اندازه گیری شد. پس از کالیبراسیون مدل های رگرسیون خطی تک متغیره و مدل های رگرسیون خطی چندمتغیره پیشنهادی، صحت تخمین شوری خاک در هر یک از این مدل ها، با استفاده از پارامترهای ضریب تبیین (R^2) و مجذور میانگین مربعات خطا ($RMSE$) در محل نمونه های ارزیابی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج ارزیابی نشان داد در مدل های رگرسیون خطی تک متغیره، بهترین مدل ها برای تخمین شوری خاک از باند مادون قرمز نزدیک باریک (8a) و شاخص روشنایی (BI) حاصل شده است که متناظر با بالاترین میزان R^2 و پایین ترین مقدار $RMSE$ در بین سایر مدل های رگرسیون خطی تک متغیره بوده است. مقادیر R^2 و $RMSE$ برای باند 8a به ترتیب ۰/۸۹ و ۲۰/۸۵ بوده و برای شاخص BI به ترتیب برابر ۰/۸۳ و ۲۱/۳۳ است. در مقایسه با مدل های رگرسیون خطی تک متغیره موجود، رگرسیون های خطی چندمتغیره پیشنهادی در این تحقیق، عمدتاً از دقت بالاتری در تخمین شوری خاک برخوردار بوده است. بهترین نتایج، از مدل رگرسیون خطی ۷ متغیره حاصل شده است که بالاترین مقدار R^2 و پایین ترین مقدار $RMSE$ نمونه های ارزیابی را در بین تمامی مدل های رگرسیون خطی تک متغیره و چندمتغیره داشته است ($RMSE=8/77$ و $R^2=0/97$). پس از تعیین دقیق ترین مدل های رگرسیون خطی تک متغیره و چندمتغیره در تخمین شوری خاک، نقشه های شوری خاک منطقه که اطلاعات ارزشمندی از وسعت، توزیع مکانی و غلظت شوری را نشان می دهد، تهیه شد. نقشه های شوری خاک نشان می دهد که در بخش وسیعی از منطقه، شوری خاک بیشتر از ۶۰ دسی زیمنس بر متر است. نتایج این تحقیق، موید قابلیت بالای رگرسیون خطی چندمتغیره پیشنهادی در این تحقیق و همچنین پتانسیل ارزشمند تصاویر چندطیفی سنتینل 2B در تخمین شوری خاک است.

کلید واژه ها: شوری خاک، سنجش از دور، رگرسیون خطی، تصویر چندطیفی سنجنده سنتینل، شوره زارهای دریاچه ارومیه

*نویسنده عهده دار مکاتبات: تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی عمران، گروه مهندسی نقشه برداری، کد پستی: ۵۱۶۶۱۶۴۷۱

۱- مقدمه

۳۵۰ گرم در هر لیتر رسیده است در حالی که متوسط میزان شوری این دریاچه در بلندمدت بین ۱۵۰ تا ۱۷۰ گرم در لیتر بوده است (Aghakouchak et al., 2014). به عبارت دیگر میزان شوری آب دریاچه ارومیه به دو برابر مقدار متوسط آن رسیده است. با ادامه این روند در طولانی مدت، محصولات کشاورزی، گیاهان و زندگی معیشتی مردم به مخاطره خواهد افتاد. لذا ارزیابی به موقع شوری خاک، تعیین وسعت، توزیع و غلظت نمک و همچنین شناسایی عوامل به وجود آورنده آن، برای مدیریت صحیح این اراضی امری ضروری است.

در سال‌های اخیر، استفاده از فناوری سنجش از دور به علت قابلیت خاص آن در شناسایی پدیده‌های مختلف، برای تخمین شوری خاک توسعه چشمگیری یافته است (Wu et al., 2014; Rahmati et al., 2015; Allbed and Kumar 2013; Gorji et al., 2017; محققان زیادی با استفاده از فناوری سنجش از دور به ارزیابی شوری خاک پرداخته‌اند. مورگان و همکاران با استفاده از تصاویر سنجنده سنتیل ۲ و بهره‌گیری از مدل شبکه‌های عصبی به ارزیابی شوری خاک در یک منطقه کشاورزی در شمال غربی قاهره (در کشور مصر) پرداختند (Morgan et al., 2018). از نتایج مهم این تحقیق می‌توان به قابلیت بالای شاخص پوشش گیاهی نرمالیزه شده (NDVI) و مدل شبکه‌های عصبی در تخمین شوری خاک اشاره کرد. در مطالعه‌ای دیگر، اسفو و همکاران به منظور تخمین شوری خاک در یک منطقه کشاورزی در ایتالیایی، از هدایت الکتریکی ظاهری خاک و شاخص‌های شوری استفاده کردند (Asfaw et al., 2018). آن‌ها برای رسیدن به هدف تحقیق از تصویر لندست TM و روش رگرسیون خطی استفاده کردند. نتایج این مطالعه نشان داد؛ شاخص شوری خاک (SI) با مقدار همبستگی (R=78%) قابلیت بالایی در تخمین شوری خاک دارد. گرجی و همکاران به منظور تخمین و پایش تغییرات شوری خاک در

خاک، از جمله منابع تجدیدناپذیر و با ارزشی است که سوء مدیریت اراضی، سبب تخریب آن می‌شود. شوری خاک یکی از شایع‌ترین مشکلات و تهدیدی جدی برای کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است. ایران نیز با توجه به اقلیم گرم و خشکی که دارد، در بسیاری از مناطق با شوری خاک مواجه است. این مسئله، گیاهان را به شدت تحت‌تاثیر قرار داده و در نهایت منجر به کاهش تولید محصول می‌شود (Taghizadeh Mehrjardi et al., 2008). در ایران، حدود ۱۴/۲ درصد از کل مساحت کشور تحت تاثیر شوری خاک قرار دارد که این مقدار معادل ۵۰ درصد از اراضی آبی ایران است (Fathi and Rezaei., 2013; Emadi and Baghernejad., 2014). شوری خاک بر اساس قابلیت هدایت الکتریکی یا پارامتر EC^1 تعیین می‌شود که روشی برای تعیین میزان رسانایی مایعات است. هر چه میزان نمک رسانای موجود در آب (یا سایر مایعات) بیشتر باشد، هدایت الکتریکی محلول بیشتر می‌شود. بر اساس یک تعریف کلی، اگر مقدار هدایت الکتریکی (EC) عصاره اشباع خاک بیش از ۴ دسی‌زیمنس بر متر باشد، خاک موردنظر در دسته خاک شور قرار می‌گیرد (Allbed et al., 2014). پیش‌نماز احمدی و همکاران، (۱۳۹۶). به‌منظور کنترل شوری خاک و استفاده صحیح از اراضی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و همچنین تغییرات شوری خاک باید بررسی شود. بنابراین لازم است همواره نقشه‌های دقیق و به‌هنگامی از شوری خاک سطح زمین تهیه شود (Wang et al., 2018).

در کشور ایران، بسیاری از اراضی در معرض افزایش شوری قرار گرفته و برخی از عوامل، این مسئله را تشدید کرده است. از مهم‌ترین این مناطق، سواحل دریاچه ارومیه و مناطق اطراف آن است. دریاچه ارومیه شورترین دریاچه داخلی ایران بوده و بعد از دریاچه بحرالمت در فلسطین اشغالی، شورترین دریاچه جهان است. در حال حاضر، میزان شوری آب این دریاچه به

1. Electrical Conductivity (EC)

Scudiero et al., شوری خاک از انجام گرفته است (Zhang et al., 2015; Sidike et al., 2014; 2015) در برخی از این تحقیقات، هدف بررسی قابلیت شاخص‌های مختلف شوری خاک بوده که گاهاً منجر به توسعه شاخص‌های شوری شده است. در برخی دیگر از تحقیقات، هدف ارزیابی روش‌های مختلف رگرسیون، به‌منظور برقراری ارتباط بین مقادیر بازتاب طیفی یا شاخص شوری، با میزان شوری خاک بوده است که از آن جمله می‌توان به رگرسیون‌های خطی و غیرخطی اشاره کرد. نتایج بسیار مهمی که از این تحقیقات حاصل می‌شود، بیانگر وابستگی بسیار بالای دقت تخمین شوری خاک با شرایط حاکم بر مسئله است به‌طوری‌که گهگاه شاخص‌های شوری یکسان و روش‌های مدل‌سازی مشابه، در شرایط مختلف به نتایج متفاوت و حتی متناقضی منتج می‌شود. بررسی تحقیقات پیشین، نشان می‌دهد، اغلب تکنیک‌های رگرسیون توسعه‌یافته در زمینه تخمین شوری خاک تک‌متغیره بوده و پتانسیل مختلف باندهای متفاوت طیفی، به‌طور توأمان در تخمین شوری خاک مورد استفاده قرار نگرفته است. انتظار می‌رود مدل‌های رگرسیون خطی چندمتغیره در مقایسه با مدل‌های رگرسیون خطی تک‌متغیره به دقت بالاتری در تخمین شوری خاک منجر شوند. در تحقیق حاضر، در جهت بهبود تخمین شوری خاک، مدل‌های رگرسیون خطی چند متغیره پیشنهاد شده و به‌طور عملی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. از طرفی تحقیقات اخیر و گزارش‌های واصله از دریاچه ارومیه نشان می‌دهد که این دریاچه ارزشمند و استراتژیک، در شرایط بسیار بحرانی به سر می‌برد؛ از یک طرف میزان نمک دریاچه فوق‌اشباع شده و از طرف دیگر؛ سطح دریاچه به مرور زمان تحلیل می‌رود. در نتیجه شوره‌زارهای فوق‌اشباع وسیعی در بستر خشک‌شده دریاچه و زمین‌های اطراف آن ایجاد شده است که روزگاری زمین‌های حاصلخیزی برای کشاورزی بوده‌اند. شایان ذکر است تحلیل سریع سطح دریاچه، سرعت توسعه شوره‌زارهای منطقه را

حاشیه دریاچه توز در کشور ترکیه، از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات مکانی استفاده کردند (Gorji et al., 2017). در این تحقیق، با محاسبه مقدار هدایت الکتریکی خاک و شاخص‌های شوری، نقشه‌های شوری خاک را با استفاده از تصاویر لندست ۵ و ۸ و با بهره‌گیری از روش رگرسیون‌های خطی تهیه کردند. نتایج حاصل از تحقیق نامبرده، نشان داد که فعالیت‌های انسانی سبب تغییر نقشه‌های پوششی و کاربری اراضی در این منطقه شده است که این مسئله نیز عامل افزایش شوری خاک در این منطقه است. کای و همکاران، در تحقیقی تلاش کردند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای CBERS و روش طبقه‌بندی SVM، خاک‌های شور در دشت Yinchuan چین را در چندین کلاس شوری طبقه‌بندی کنند (Simin et al., 2010). دقت کلی طبقه‌بندی حاصل از این روش ۸۴/۶۹ درصد و ضریب کاپای آن برابر ۰/۸۲ برآورد شد که بیانگر دقت بالای این روش، نسبت به روش‌های متداول طبقه‌بندی است. تقی‌زاده مهرجردی و همکاران قابلیت تصاویر ماهواره‌ای ETM+ را در تخمین شوری خاک دشت اردکان یزد مورد بررسی قرار دادند (Taghizadeh Mehrjardi et al., 2008). در این مطالعه با بکارگیری مقادیر هدایت الکتریکی محاسبه شده در آزمایشگاه برای نمونه‌های زمینی، مدل‌های رگرسیون خطی در باندهای طیفی، کالیبره شده و مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تحقیق مذکور نشان داد که باند طیفی قرمز این تصویر با مقدار همبستگی 0.58، بالاترین وابستگی را با مقادیر آزمایشگاهی داشته است. الحاج برای تخمین شوری خاک منطقه‌ای در عربستان سعودی، از شاخص‌های شوری (SI)، شاخص روشنایی (BI) و شاخص شوری استاندارد شده (NDSI) استفاده کرد (Elhag., 2016). نتایج این تحقیق، بیانگر قابلیت بالای شاخص شوری (SI-9) با مقدار همبستگی (R=0.95) در تخمین شوری خاک در منطقه مورد مطالعه است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تحقیقات ارزنده‌ای در جهت تعیین قابلیت تصاویر سنجش از دوری در تخمین

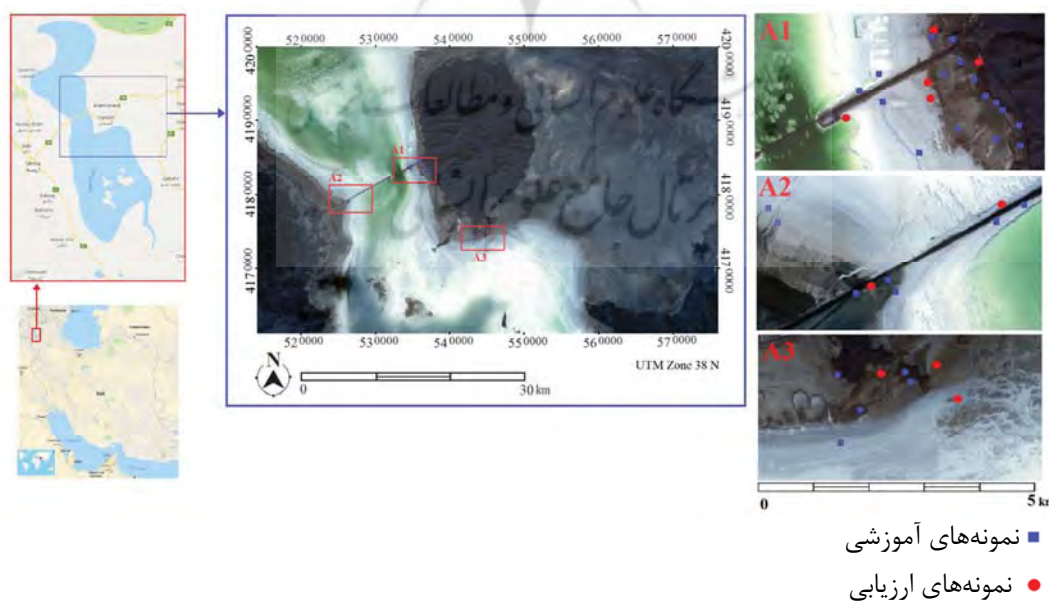
شرقی بین دو استان آذربایجان شرقی و غربی واقع شده و از نظر مساحت، بیستمین دریاچه بزرگ و دومین دریاچه فوق اشباع از نمک دنیا است (Alesheikh et al., 2007). آب این دریاچه، عمدتاً از رودخانه‌های زیرنه‌رود، سیمینه‌رود، تلخه‌رود، گادر، باراندوز، شهر چای، نازلو و زولا تامین می‌شده است. مساحت آن بین ۴۰۰۰ تا ۶۰۰۰ کیلومتر مربع بوده و به‌طور معمول ۵۵۰۰ کیلومتر مربع است. ارتفاع آن از سطح دریا ۱۲۶۷ متر بوده و این ارتفاع در سال‌های پر باران و کم باران، همچنین در فصل‌های مختلف سال، نوسان‌های قابل توجهی دارد. طول این دریاچه بین ۱۳۰ تا ۱۴۰ کیلومتر و عرض آن از ۱۶ تا ۶۰ کیلومتر متغیر است. دمای آب دریاچه، بین صفر تا ۲۰ درجه در زمستان و تا ۴۰ درجه بالای صفر در تابستان تغییر می‌کند (Aghakouchak et al., 2014). همچنین میانگین بارش سالانه آن حدود ۳۰۰ میلی‌متر است. به علت وسعت بالای این منطقه، در این تحقیق تنها شوره‌زارهای حاشیه شرقی دریاچه ارومیه که از نظر وسعت و غلظت نسبت به سایر مناطق قابل توجه‌تر است؛ مورد بررسی قرار گرفته است.

تشدید نموده و روز به روز به وسعت آن‌ها افزوده می‌شود. بنابراین لازم است مطالعه دقیقی برای بررسی قابلیت تصاویر سنجنش از دوری در تخمین شوری فوق اشباع خاک در این منطقه انجام گرفته و نقشه‌های دقیق و به هنگامی از شوره‌زارهای منطقه تهیه شود. نقشه‌های شوری خاک، اطلاعات ارزشمندی از وسعت، توزیع مکانی و غلظت شوره‌زارهای اطراف دریاچه را فراهم کرده و می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های کارشناسان، مدیران و برنامه‌ریزان سازمان‌های مرتبط و از همه مهم‌تر ستاد احیای دریاچه ارومیه موثر واقع شود. بنابراین می‌توان از تشدید و توسعه این شوره‌زار جلوگیری کرده و یا حداقل، برنامه و طرح مناسبی جهت مدیریت آنها طراحی کرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

دریاچه ارومیه در شمال غربی ایران در موقعیت جغرافیایی، بین ۳۷ درجه و ۴ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه تا ۴۶ درجه طول



شکل ۱. موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه و همچنین موقعیت جغرافیایی نمونه‌های جمع‌آوری‌شده و ترکیب رنگی طبیعی از تصویر سنتینل مورد استفاده

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

ارزیابی به‌منظور کالیبراسیون و همچنین ارزیابی مدل‌های رگرسیون خطی ضروری است، نمونه‌های زمینی تحت عملیات میدانی با تعداد و توزیع مناسب در تاریخ ۶ اکتبر ۲۰۱۸ از منطقه مورد مطالعه برداشت شد. به‌منظور برداشت نمونه‌ها، یک نقطه مشخص انتخاب شده و سپس مختصات آن توسط سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) ثبت شد. سپس نقطه مورد نظر به‌عنوان مرکز یک دایره فرضی به شعاع ۴ متر در نظر گرفته شد و در ۴ جهت اصلی و در فاصله ۴ متری از نقطه مرکزی، از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری شد. سپس ۴ نمونه را با نمونه مرکزی مخلوط کرده و وزنی حدود ۵۰۰ گرم از نقطه موردنظر جمع‌آوری شد. در فاز پردازش‌های آزمایشگاهی، میزان غلظت نمک به نمایندگی هدایت الکتریکی (EC) در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه تبریز اندازه‌گیری شد. در این تحقیق، ۳۸ نمونه از سه محل متفاوت A1، A2 و A3 در سطح منطقه مورد مطالعه با روش مذکور جمع‌آوری شد که ۲۸ نمونه به‌عنوان نمونه‌های آموزشی و ۱۰ نمونه به‌عنوان نمونه‌های ارزیابی در نظر گرفته شده است.

در تحقیق حاضر، برای تخمین شوری خاک، از تصویر ماهواره‌ای چند طیفی سنتینل 2B که در تاریخ ۶ اکتبر ۲۰۱۸ همزمان با برداشت داده‌های زمینی از منطقه مورد مطالعه اخذ شده است، استفاده شد. این تصویر از سایت زمین‌شناسی امریکا^۱ دانلود شده است. مشخصات باندهای طیفی سنجنده سنتینل 2B در جدول ۱ ارائه شده است. در این تحقیق، از ۸ باند اصلی شامل باندهای 2، 3، 4، 5، 6، 7، 8 و 8a استفاده شده و همچنین شاخص‌های شوری متنوعی نیز بر مبنای این باندها استخراج و به‌کار گرفته شد (جزئیات بیشتر در جدول ۲). لازم به ذکر است علاوه بر تصویر سنتینل که داده اصلی در تخمین شوری خاک است، برای تعیین حدود بستر خشک‌شده دریاچه ارومیه، از تصویر چندطیفی لندست (اخذ شده در تاریخ ۷ جولای ۱۹۸۹) نیز استفاده شد که این تصویر نیز از سایت زمین‌شناسی امریکا تهیه شد که در بخش پیش‌پردازش‌ها، جزئیات بیشتری از این فرآیند ارائه شده است. از آنجا که وجود نمونه‌های آموزشی و

جدول ۱. مشخصات باندهای طیفی تصویر سنتینل 2B.

باندها	Sentinel-2B		توان تفکیک (m)
	طول موج مرکزی (nm)	پهنای باند (nm)	
Band1 – Coastal aerosol	۴۴۲/۲	۴۵	۶۰
Band 2 – Blue	۴۹۲/۱	۹۸	۱۰
Band 3 – Green	۵۵۹	۴۶	۱۰
Band 4 – Red	۶۶۴/۹	۳۹	۱۰
Band 5 – Vegetation red edge	۷۰۳/۸	۲۰	۲۰
Band 6 – Vegetation red edge	۷۳۹/۱	۱۸	۲۰
Band 7 – Vegetation red edge	۷۷۹/۷	۲۸	۲۰
Band 8 – NIR	۸۳۲/۹	۱۳۳	۱۰
Band 8A – Narrow NIR	۸۶۴	۳۲	۲۰
Band 9 – Water vapor	۹۴۳/۲	۲۷	۶۰
Band 10 – SWIR – Cirrus	۱۳۷۶/۹	۷۶	۶۰
Band 11 – SWIR	۱۶۱۰/۴	۱۴۱	۲۰
Band 12 – SWIR	۲۱۸۵/۷	۲۳۸	۲۰

1. <http://earthexplorer.usgs.gov/>

۲-۳- پیش پردازش‌ها

تخمین شوری خاک با تصاویر سنجش از دور، مستلزم انجام پیش‌پردازش‌های متعددی روی این تصاویر است. از جمله مهمترین این پیش‌پردازش‌ها می‌توان به تصحیح هندسی، رادیومتریکی و تصحیح اتمسفری اشاره کرد. با بررسی‌های انجام‌شده روی تصویر مورد استفاده مشخص شد که تصحیح هندسی و رادیومتریکی تصاویر سنتینل سطح 1c توسط سازمان ارائه‌دهنده، انجام شده و نیازی به انجام مجدد این مرحله وجود ندارد. یکی دیگر از پیش‌پردازش‌های مهم و اساسی، تصحیح اتمسفری تصاویر است که هدف آن تبدیل بازتاب طیفی در بالای اتمسفر به بازتاب طیفی در پایین اتمسفر¹ (BOA) است. به‌منظور تصحیح اتمسفری تصاویر سنتینل، ESA² الگوریتم تصحیح اتمسفری SEN2COR را ارائه کرده است که به عنوان یک افزونه در نرم افزار SNAP فعال می‌شود (Navarro et al., 2017; Toming et al., 2016) در (Chatziantoniou; and Petropoulos., 2017). در تحقیق حاضر، تصحیح اتمسفری تصویر سنتینل 2B با این روش انجام گرفت.

به عنوان یک مطالعه موردی در تحقیق حاضر، میزان شوری خاک در بستر خشک‌شده دریاچه ارومیه (بین سالهای ۱۹۸۹ و ۲۰۱۸ میلادی) مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است، بستر خشک‌شده دریاچه (شوره‌زارهایی که سابقاً جز سطح دریاچه بوده‌اند) با مقایسه سطح دریاچه در تاریخ ۷ جولای ۱۹۸۹ و ۶ اکتبر ۲۰۱۸ مشخص شده است. برای تعیین سطح دریاچه در سال ۲۰۱۸، از تصویر چندطیفی سنتینل 2B که در تاریخ ۶ اکتبر ۲۰۱۸ از منطقه مورد مطالعه اخذ شده است، استفاده شد. به این منظور، ابتدا شاخص تفاضل نرمال شده آب³ (NDWI) با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شده (Ji et al., 2009) و سپس مقادیر آن مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. در رابطه (۱)، Green و NIR، به ترتیب بیانگر بازتاب طیفی در باندهای سبز و مادون قرمز نزدیک است. مقادیر شاخص NDWI، در بازه [-1,+1] قرار می‌گیرد

که مقادیر مثبت بیانگر سطوح آب هستند. معمولاً سطوح آبی با حد آستانه‌گذاری روی شاخص NDWI مشخص می‌شود. روش تجربی با آزمودن مقادیر مختلف، یک روش دقیق و کارآمد برای تعیین حد آستانه مناسب در این کاربرد است. در تحقیق حاضر، حد آستانه‌های متعددی بین مقادیر صفر تا یک، مورد بررسی قرار گرفته و خطای تعیین مرز دریاچه در محل نقاط کنترل زمینی، مبنای ارزیابی آنها لحاظ شد. در نهایت از مقدار T=0.3 برای حد آستانه‌گذاری شاخص NDWI و تعیین سطوح آب در تصویر سنتینل 2B استفاده شد که متناظر با خطای ۱۲ متر در تعیین مرز دریاچه بوده است.

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \quad \text{رابطه (۱)}$$

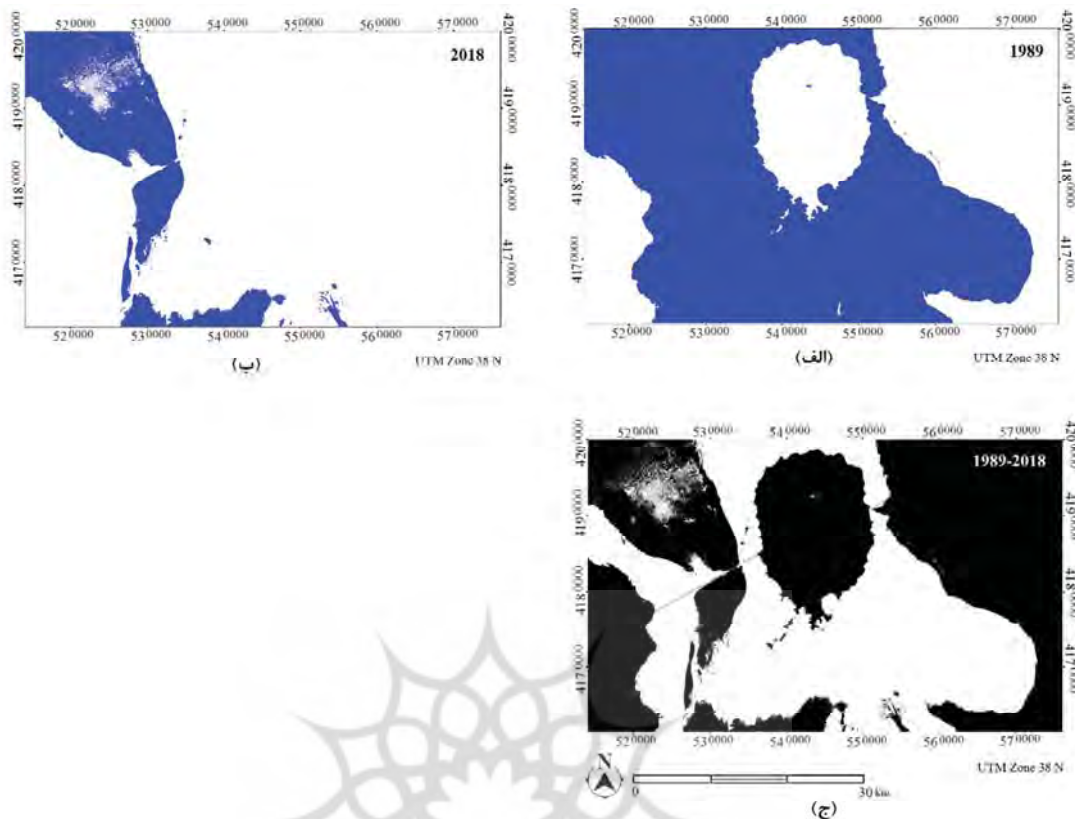
برای تعیین سطح دریاچه، در تاریخ ۷ جولای ۱۹۸۹ میلادی (به‌عنوان پرآب‌ترین تاریخ دریاچه)، از تصویر چندطیفی سنجنده TM ماهواره Landsat 4 استفاده شد. در این تصویر نیز، مشابه تصویر چندطیفی سنتینل 2B، ابتدا شاخص NDWI تولید شده و سپس مورد تحلیل قرار گرفت. البته با توجه به عدم امکان برداشت نقاط کنترل زمینی و در دسترس نبودن نقشه‌های مرجع زمینی قابل اعتماد در تاریخ مذکور از این منطقه، برای حصول صحت بالا در تعیین خط ساحلی، از روش تفسیر بصری استفاده شد. تفسیر بصری تصاویر سنجش از دوری، یک روش دقیق و کارآمد در این زمینه است که با استفاده از تفسیر ترکیب‌های رنگی مختلفی از تصاویر چندطیفی انجام می‌گیرد و مبنای ارزیابی صحت سایر روش‌های یادگیری ماشین نیز هست (Alesheikh et al., 2007). شکل‌های ۲-الف و ۲-ب، به ترتیب سطح دریاچه ارومیه را در سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۱۸ نشان می‌دهد. با مقایسه سطح دریاچه در دو تاریخ نامبرده (مقایسه شکل ۲-الف و ۲-ب)، بستر خشک شده دریاچه (حدود شوره‌زارهای کنونی) تعیین شد که نتایج آن در شکل ۲-ج، ارائه شده است.

1. Bottom of Atmosphere

2. European Space Agency

3. Normalized Difference Water Index

تخمین شوری خاک در بستر خشک شده دریاچه ارومیه ...



شکل ۲. الف) و ب) سطح دریاچه ارومیه به ترتیب در سالهای ۱۹۸۹ و ۲۰۱۸، ج) بستر خشک شده دریاچه بین سالهای ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸. در شکل‌های الف) و ب)، رنگ آبی بیانگر سطح دریاچه ارومیه بوده و در شکل ج)، رنگ سفید بیانگر سطح خشک شده دریاچه ارومیه است.

۲-۴- محاسبه شاخص‌های شوری خاک

در تحقیق حاضر، به منظور حصول دقت بیشتر در تخمین شوری خاک، از طیف وسیعی از این شاخص‌ها (۱۷ شاخص شوری) استفاده شده است. دلیل تکرار شاخص‌های شوری بکار گرفته شده، پتانسیل متفاوت هر یکی از این شاخص‌ها در تخمین شوری و عدم برتری مطلق هر کدام از آنها نسبت به دیگری است. در واقع، تضمین صحت بالا برای تخمین شوری خاک، مستلزم بررسی شاخص‌های متنوع شوری است. در جدول ۲، شاخص‌های شوری به کار گرفته شده در این تحقیق ارائه شده است.

به منظور تخمین شوری خاک با استفاده از تصاویر سنجش از دور، علاوه بر باندهای اصلی تصویر چند طیفی، از شاخص‌های طیفی استخراج شده از باندهای اصلی سنجنده نیز استفاده می‌شود که با انجام عملیات ریاضی، روی باندهای اصلی حاصل شد. هدف از استخراج این شاخص‌ها، بهبود دقت تخمین شوری است که بر مبنای خصوصیات فیزیکی نمک موجود در خاک طراحی می‌شوند. تاریخچه تحقیقات، نشان می‌دهد شاخص‌های شوری متعدد و متنوعی با استفاده از باندهای مختلف طیفی توسعه داده شده است (Yong-Dehaan and Taylor., 2002; ling) et al., 2010 (Csillag et al., 1993).

جدول ۲. شاخص‌های شوری خاک محاسبه شده بر اساس باندهای طیفی مختلف تصویر چندطیفی سنتینل 2B

شاخص‌ها	معادلات	مرجع
Salinity Index 1 (SI)	$SI = \sqrt{B * R}$	(Rahmati., 2015; El et al., 2006)
Salinity Index 2 (SI1)	$SI1 = \sqrt{G * R}$	(Rahmati., 2015; El et al., 2006)
Salinity Index 3 (SI2)	$SI2 = \sqrt{G^2 + R^2 + NIR^2}$	(Rahma.,ti 2015; El et al., 2006)
Salinity Index 4 (SI3)	$SI3 = \sqrt{G^2 + R^2}$	(Rahmati., 2015; El et al., 2006)
Salinity Index 5 (S)	$S = R/NIR$	(Allbed and Kumar., 2013)
Salinity Index 6 (S1)	$S1 = B/R$	(Allbed and Kumar., 2013)
Salinity Index 7 (S2)	$S2 = (B - R)/(B + R)$	(Allbed and Kumar., 2013)
Salinity Index 8 (S3)	$S3 = (G * R)/B$	(Allbed and Kumar., 2013)
Salinity Index 9 (S5)	$S5 = (B * R)/G$	(Allbed and Kumar., 2013)
Salinity Index 10 (S6)	$S6 = (R * NIR)/G$	(Allbed and Kumar., 2013)
Normalized Difference Salinity Index (NDSI)	$NDSI = (R - NIR)/(R + NIR)$	(Allbed and Kumar., 2013)
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	$NDVI = (NIR - R)/(NIR + R)$	(Bannari et al., 2008)
Brightness Index (BI)	$BI = \sqrt{R^2 + NIR^2}$	(Khan et al., 2005)
Soil Color Index (SCI)	$SCI = (R - G)/(R + G)$	(حبشی و همکاران، ۱۳۹۶)
Ratio Vegetation Index (RVI)	$RVI = NIR/R$	(Fan et al., 2012)
Renormalized Difference Vegetation Index (RDVI)	$RDVI = (NIR - R)/(\sqrt{NIR + R})$	(Bannari et al., 2008)
Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)	$SAVI = [(NIR - R)/(NIR + R + L)] * (1 + L)$	(Bannari et al., 2008) (Huete., 1988)

(R=Red, G=Green, B=Blue)

۲-۵- مدل رگرسیون خطی تک‌متغیره مبتنی بر

باندهای طیفی و شاخص‌های شوری

Rhoades et al., 1990 ;Eldeiry and Garcia.,2010)
Mahmoudabadi et al., 2017; Nawar et al., 2014;
Akramkhanov and Vlek., 2011; (۲)، فرم کلی رگرسیون خطی تک‌متغیره در تخمین شوری خاک (EC') با استفاده از مقدار بازتاب طیفی (R) را نشان می‌دهد. در این رابطه؛ a و b پارامترهای رگرسیون خطی تک‌متغیره است که باید تعیین شوند. تعیین این پارامترها را می‌توان تحت فرآیند کالیبراسیون مدل، معرفی کرد. نکته حائز اهمیت در مدل رگرسیون خطی، این است که پارامترهای مدل، باید برای هر باند طیفی و همچنین شاخص‌های شوری به‌طور جداگانه کالیبره شود. برای کالیبراسیون و همچنین ارزیابی مدل‌ها، وجود نمونه‌های آموزشی و ارزیابی ضروری است که نحوه جمع‌آوری آن‌ها در

تکنیک رگرسیون، روشی آماری به‌منظور بررسی و مدل‌سازی رابطه میان متغیرها است. در مدل‌های رگرسیون خطی، پارامترهای مدل خطی هستند و اگر دارای یک متغیر مستقل باشند، مدل رگرسیون خطی تک‌متغیره نامیده می‌شود. یکی از روش‌های متداول و کارآمد در تخمین شوری خاک با استفاده از تصاویر سنجش از دوری، مدل رگرسیون خطی تک‌متغیره است. در مدل رگرسیون خطی تک‌متغیره، تخمین شوری خاک تنها با استفاده از مقادیر طیفی یک باند یا شاخص شوری منفرد صورت می‌گیرد. در تحقیقات پیشین، این روش به نتایج بسیار بالایی در تخمین شوری خاک منجر شده است

قسمت ۲-۲ ارائه شده است.

$$EC' = aR + b \quad \text{رابطه (۲)}$$

مجذور میانگین مربعات خطا^۱ (RMSE) و ضریب تبیین^۲ (R^2) استفاده شد. رابطه‌های (۴) و (۵) بیانگر پارامترهای (RMSE) و (R^2) هستند.

$$RMSE = \left[\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n} \right]^{1/2} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$R^2 = 1 - \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{\sum(x-y)^2}{\sum(x-\bar{x})^2} \quad \text{رابطه (۵)}$$

در رابطه (۴) و (۵) x و y بیانگر مقادیر مطلق مشاهداتی و پیش‌بینی شده و \bar{x} و \bar{y} مقادیر مشاهداتی را نشان داده و n تعداد کل مشاهدات است. RMSE، پارامتری مناسب به منظور مقایسه مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل آماری است. هر چه میزان RMSE، به صفر نزدیک‌تر باشد، بیانگر صحت بالای مدل رگرسیون خطی در تخمین شوری خاک است. R^2 ، میزان همبستگی بین بازتاب طیفی یا شاخص شوری استخراج شده از داده‌های سنجش از دوری با میزان شوری اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه (EC) را نشان می‌دهد. هر چه میزان R^2 به یک نزدیک‌تر باشد، بیانگر همبستگی بالا بین داده‌های سنجش از دوری و مقادیر هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده بوده و صحت مدل رگرسیون خطی در تخمین شوری خاک بیشتر خواهد بود.

۲-۳- تخمین شوری خاک با استفاده از مدل رگرسیون خطی تک‌متغیره

یکی از روش‌های مورد استفاده برای تخمین شوری خاک در تحقیق حاضر، مدل رگرسیون خطی تک‌متغیره است. در این روش، در هر یک از باندهای طیفی و شاخص‌های شوری، مدل‌های رگرسیون خطی تک‌متغیره متفاوتی برای تخمین شوری خاک با استفاده از نمونه‌های آموزشی طراحی و کالیبره شد. علاوه بر محاسبه RMSE و R^2 نمونه‌های آموزشی که دقت کالیبراسیون را نشان می‌دهد، صحت عملکرد هر مدل با استفاده از نمونه‌های ارزیابی با محاسبه R^2 و RMSE مدل

۲-۶- مدل پیشنهادی رگرسیون خطی چند متغیره

مدل پیشنهادی در این مقاله، مدل رگرسیون خطی چند متغیره است که با استفاده از آن می‌توان، رابطه خطی موجود، بین مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل را با یک متغیر وابسته بررسی کرد. در این روش، برعکس مدل رگرسیون خطی تک‌متغیره می‌توان از پتانسیل متنوع باندهای طیفی یا شاخص‌های شوری خاک، به‌طور همزمان در تخمین شوری خاک استفاده کرد. انتظار می‌رود مدل رگرسیون خطی چند متغیره با بهره‌گیری از چندین باند یا شاخص شوری خاک، نتایج بهتری را در تخمین شوری خاک فراهم نماید. رابطه (۳) فرم کلی رگرسیون خطی چند متغیره در تخمین شوری خاک (EC') را نشان می‌دهد.

$$EC' = \sum_{i=1}^n a_i * R_i + a_0 \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه (۲) پارامترهای a_i ($i=1,2,\dots,n$) و پارامتر a_0 پارامترهای رگرسیون خطی چندمتغیره هستند که لازم است تعیین شوند. با توجه به اینکه تعداد معادلات مشاهدات بیشتر از تعداد مجهولات رگرسیون خطی چندمتغیره می‌باشد، تخمین پارامترهای این مدل با استفاده از روش کمترین مربعات انجام می‌گیرد.

۳- نتایج

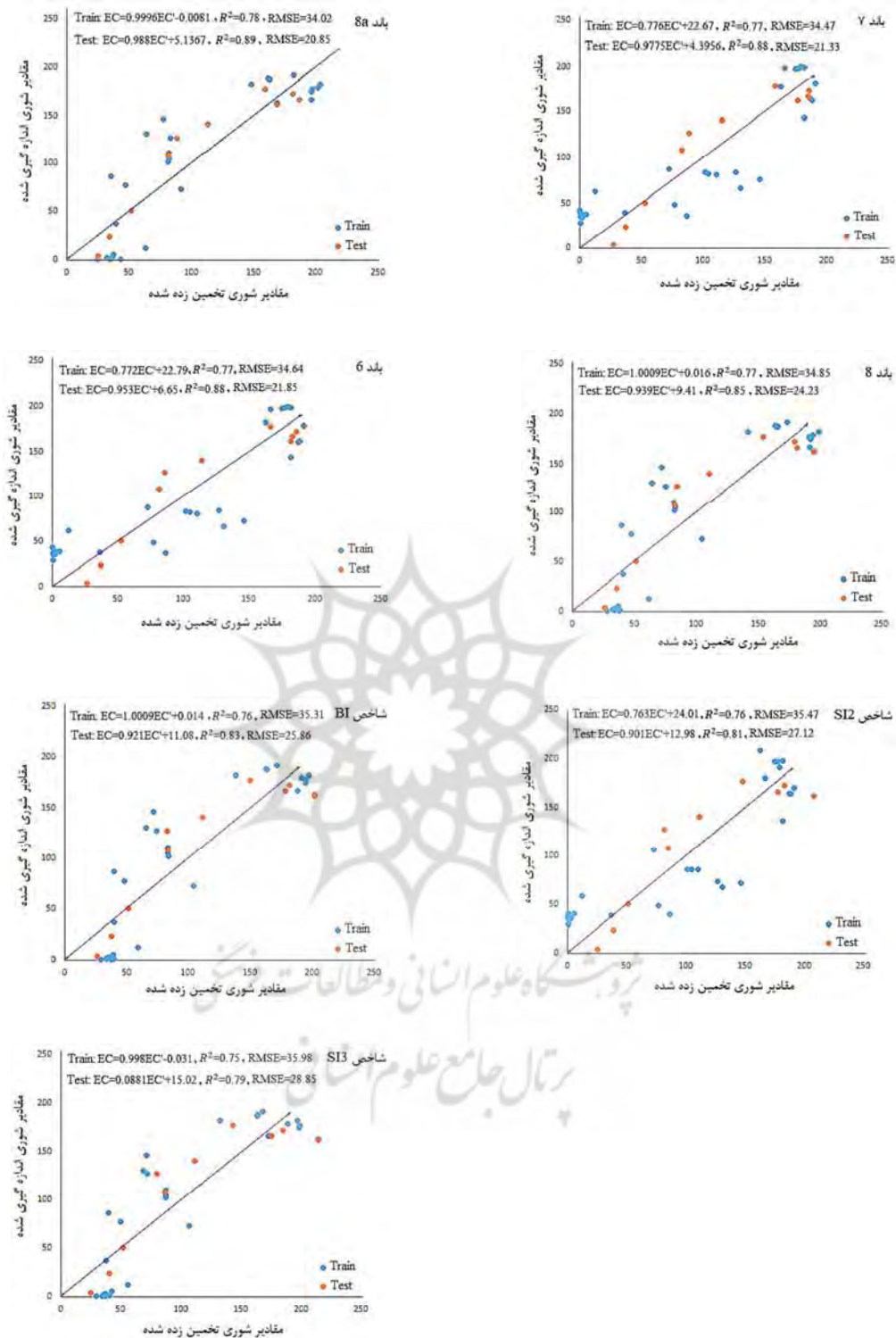
۱-۳- معیارهای ارزیابی مدل

ارزیابی صحت عملکرد یک روش، از مراحل مهم و اساسی در توسعه و به‌کارگیری آن روش محسوب می‌شود. بنابراین ارزیابی دقت تخمین شوری خاک با داده‌های سنجش از دوری امری ضروری است. بررسی عملکرد روش‌های مختلف از طریق معیارهای برازش، قابل مقایسه است. در این پژوهش، به‌منظور مقایسه و ارزیابی عملکرد روش‌های رگرسیون و ارزیابی تخمین شوری خاک از پارامترهای

1. Root Mean Square Error

2. Coefficient of determination

نسا فرهمند و همکاران



شکل ۳. مدل‌های رگرسیون خطی تک متغیره برازش یافته بر نمونه‌های آموزشی و ارزیابی در باندهای طیفی و شاخص‌های شوری متناسر با بالاترین مقدار R^2 و کمترین مقدار RMSE

صحت مدل های رگرسیون خطی تک متغیره در تخمین شوری خاک برای تمامی باندها و شاخص های شوری در جدول (۳) ارائه شده است. در روابط خطی ارائه شده در گراف های شکل (۳)، مقادیر a و b معیاری از عملکرد صحیح مدل رگرسیون در تخمین شوری است. به هر میزان که پارامتر a به یک و b به صفر نزدیک تر باشد، دقت صحت مدل در تخمین شوری بالاتر خواهد بود. در بین تمامی باندها، باند 8a با دارا بودن پارامتر a برابر ۰/۹۸ و b برابر ۵/۱۳ از قابلیت بالاتری در تخمین شوری خاک برخوردار بوده است که از این نظر با پارامترهای R^2 و RMSE مطابقت دارد.

برآورد شد. بهترین مدل های رگرسیون خطی تک متغیره در بین باندهای طیفی و شاخص های شوری خاک متناظر با بیشترین مقدار R^2 و کمترین مقدار RMSE نمونه های ارزیابی است. در شکل (۳)، اسکاتر پلات ۲۸ نمونه آموزشی و ۱۰ نمونه ارزیابی برای باندهای طیفی و شاخص های شوری که بیشترین R^2 و کمترین RMSE را داشته اند به همراه روابط خطی تخمین زده شده که ارتباط بین مقادیر اندازه گیری شده و تخمین زده شده را نشان می دهد، ارائه داده شده است. به منظور بررسی دقیق تر و جامع تر، نتایج ارزیابی

جدول ۳. پارامترهای مدل رگرسیون خطی تک متغیره و پارامترهای R^2 و RMSE برآورد شده در محل نمونه های آموزشی (دقت مدل) و نمونه های ارزیابی (صحت مدل) برای هر یک از باندهای طیفی و شاخص های شوری خاک

باند طیفی / شاخص شوری خاک	مدل تخمین شوری خاک	RMSE		R^2	
		آموزشی	ارزیابی	آموزشی	ارزیابی
باند ۲	$EC' = 0.0432 \times Band\ 2 - 31.37$	۳۷/۲۸	۳۳/۸۹	۰/۷۴	۰/۷۳
باند ۳	$EC' = 0.0376 \times Band\ 3 - 27.86$	۳۶/۴۳	۳۰/۵۱	۰/۷۵	۰/۷۷
باند ۴	$EC' = 0.0325 \times Band\ 4 - 18.59$	۳۵/۸۶	۲۷/۵۹	۰/۷۶	۰/۸۱
باند ۵	$EC' = 0.0322 \times Band\ 5 - 18.34$	۳۵/۴۹	۲۵/۵۲	۰/۷۶	۰/۸۴
باند ۶	$EC' = 0.0340 \times Band\ 6 - 18.57$	۳۴/۶۴	۲۱/۸۵	۰/۷۷	۰/۸۸
باند ۷	$EC' = 0.0338 \times Band\ 7 - 18.42$	۳۴/۴۷	۲۱/۳۳	۰/۷۷	۰/۸۸
باند ۸	$EC' = 0.0328 \times Band\ 8 - 15.99$	۳۴/۸۵	۲۴/۲۳	۰/۷۷	۰/۸۵
باند 8a	$EC' = 0.0348 \times Band\ 8a - 19.93$	۳۴/۰۲	۲۰/۸۵	۰/۷۸	۰/۸۹
SI	$EC' = 0.0377 \times SI - 25.39$	۳۶/۱۹	۳۰/۴۰	۰/۷۵	۰/۷۷
SI1	$EC' = 0.0351 \times SI1 - 23.37$	۳۵/۹۸	۲۸/۹۷	۰/۷۵	۰/۷۹
SI2	$EC' = 0.0198 \times SI2 - 20.91$	۳۵/۴۷	۲۷/۱۲	۰/۷۶	۰/۸۱
SI3	$EC' = 0.0247 \times SI3 - 23.06$	۳۵/۹۸	۲۸/۸۵	۰/۷۵	۰/۷۹
S	$EC' = -1049.5 \times S + 1198.5$	۵۶/۴۰	۴۸/۲۶	۰/۴۰	۰/۴۳
S1	$EC' = -687.35 \times S1 + 685.91$	۵۱/۶۳	۴۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۵۷
S2	$EC' = -1121.8 \times S2 + 16.049$	۵۲/۳۹	۴۱/۵۲	۰/۴۸	۰/۵۵
S3	$EC' = 0.0279 \times S3 - 14.10$	۳۵/۹۸	۲۵/۸۹	۰/۷۵	۰/۸۳
S5	$EC' = 0.0376 \times S5 - 22.65$	۳۶/۱۴	۳۰/۳۴	۰/۷۵	۰/۷۷
S6	$EC' = 0.0276 \times S6 - 5.437$	۳۶/۱۲	۳۲/۶۷	۰/۷۵	۰/۷۵
BI	$EC' = 0.0231 \times BI - 17.46$	۳۵/۳۱	۲۵/۸۶	۰/۷۶	۰/۸۳
NDSI	$EC' = -2054.7 \times NDSI + 146.82$	۵۸/۲۷	۴۵/۸۲	۰/۳۶	۰/۴۸
NDVI	$EC' = 2054.7 \times NDVI + 164.82$	۵۸/۲۷	۴۵/۸۲	۰/۳۶	۰/۴۸
RDVI	$EC' = 19.599 \times RDVI + 131.11$	۶۶/۹۷	۶۲/۲۷	۰/۱۵	۰/۰۹
RVI	$EC' = 1109.8 \times RVI - 961.60$	۵۸/۱۱	۴۸/۹۹	۰/۳۶	۰/۴۱
SCI	$EC' = 1770.7 \times SCI + 56.95$	۴۹/۷۴	۳۴/۳۵	۰/۵۳	۰/۷۲
SAVI	$EC' = 1402.4 \times SAVI + 174.67$	۵۷/۰۸	۴۸/۶۲	۰/۳۸	۰/۴۱

پایین‌ترین صحت را در تخمین شوری خاک فراهم کرده است. همانطور که از نتایج مشخص است همچنان باندهای طیفی در مقایسه با بهترین شاخص‌های شوری، صحت بالاتری را در تخمین شوری داشته است.

۳-۳- تخمین شوری خاک با استفاده مدل پیشنهادی رگرسیون خطی چندمتغیره

در مقاله حاضر، به منظور بهبود دقت تخمین شوری خاک، مدل رگرسیون خطی چندمتغیره پیشنهاد می‌شود. در این روش، ترکیب باندهای طیفی یا شاخص‌های شوری متعدد، منجر به مدل‌های رگرسیون چند خطی مختلفی خواهد شد. با در نظر گرفتن تنها ۲ باند طیفی یا شاخص شوری، ۲۵ مدل رگرسیون خطی قابل طراحی است که معادل ترکیب ۲ از ۲۵ متغیر است. در این تحقیق تعداد کل متغیرها برابر ۲۵ است که شامل ۸ باند طیفی تصویر سنتینل و ۱۷ شاخص شوری خاک است. رابطه (۶)، نحوه محاسبه ۳۳.۵۵۴.۴۳۱ مدل رگرسیون خطی چند متغیره قابل تعریف از ۲۵ متغیر (باند طیفی / شاخص شوری خاک) را نشان می‌دهد.

رابطه (۶)

$$= \text{تعداد کل مدل رگرسیون‌های خطی چند متغیره با استفاده از 25 متغیر}$$

$$\binom{25}{1} + \binom{25}{2} + \binom{25}{3} + \dots + \binom{25}{25} = 25 + 300 + 2300 + \dots + 25 + 1 = 33554431$$

در این رگرسیون خطی چندمتغیره، هر یک از مدل‌های طراحی شده با استفاده از نمونه‌های آموزشی کالیبره شده و صحت آن‌ها در تخمین شوری خاک با استفاده از نمونه‌های ارزیابی تعیین شده است. جدول (۴)، مشخصات مدل‌های رگرسیون خطی چندمتغیره طراحی شده با تعداد متغیرهای مختلف (۱ تا ۲۵ متغیر) به همراه بهترین مدل رگرسیون خطی در هر دسته را نشان می‌دهد.

همانطور که از بررسی شکل (۳) و جدول (۳) مشخص است، در بین باندهای طیفی، باند مادون قرمز نزدیک باریک (باند 8a) و باند آبی (باند ۲) به ترتیب با مقدار R^2 ، ۰/۷۸ و ۰/۷۳ بیشترین و کمترین همبستگی را با هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه داشته‌اند. همچنین در بین شاخص‌های شوری استخراج شده از تصویر سنتینل، شاخص روشنایی (BI) و شاخص شوری SI2 به ترتیب با مقدار R^2 ، ۰/۷۶ بالاترین همبستگی و شاخص RDVI با R^2 ، ۰/۱۵، پایین‌ترین همبستگی را با مقادیر هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده، ارائه کرده است.

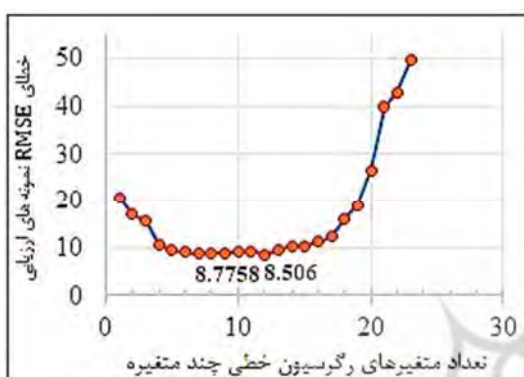
همچنین بررسی جدول (۳) نشان می‌دهد استخراج شاخص‌های شوری از تصاویر سنتینل تا حدودی سبب بهبود نتایج شده است اما به‌طور کلی بهترین نتایج نه از شاخص‌های شوری بلکه از باندهای طیفی حاصل شده است. چرا که باندهای 6، 7، 8 و 8a به دقت‌های بالاتری نسبت به بهترین شاخص‌های شوری (BI و SI1 و SI2 و SI3 و S3) نائل شده است. اما در بین باندهای طیفی، باندهای 2 و 3 (باند سبز و قرمز) نتایج ضعیف‌تری را نسبت به شاخص‌های شوری نامبرده داشته‌اند. با بررسی R^2 و RMSE نمونه‌های ارزیابی (پارامتر صحت) ارائه شده در شکل (۳) و جدول (۳) مشخص می‌شود که؛ در بین باندهای طیفی باند 8a و 7 به ترتیب با مقادیر R^2 ، ۰/۸۹ و ۰/۸۸ و مقادیر RMSE ۲۰/۸۵ و ۲۱/۳۳ بالاترین همبستگی و باند 2 به ترتیب با مقادیر R^2 ، ۰/۷۳ و RMSE ۳۳/۸۹ پایین‌ترین همبستگی را با میزان شوری خاک اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه داشته‌اند (باندهای طیفی باند 8a و 7 بیشترین صحت و باند 2 کمترین صحت را در تخمین شوری خاک داشته است). همچنین در بین شاخص‌های شوری، شاخص BI، S3، SI2، SI3 و SI1 به ترتیب با R^2 ، ۰/۸۳، ۰/۸۳، ۰/۸۱، ۰/۷۹ و ۰/۷۹ بالاترین صحت و شاخص RDVI با ضریب ۰/۰۹

تخمین شوری خاک در بستر خشک شده دریاچه ارومیه ...

جدول ۴. مشخصات مدل‌های رگرسیون خطی چند متغیره طراحی شده با تعداد متغیرهای مختلف و بهترین مدل رگرسیون متناظر با بیشترین مقدار R^2 و کمترین خطای RMSE در بین نمونه‌های ارزیابی.

تعداد متغیرهای رگرسیون خطی	تعداد کل مدلها	بهترین مجموعه باندها در هریک از مدل‌های رگرسیون چندمتغیره	RMSE		R^2	
			آموزشی	ارزیابی	آموزشی	ارزیابی
۱	۲۵	B8a	۳۴/۰۲	۲۰/۸۵	-۰/۷۸	-۰/۸۸
۲	۳۰۰	B6, S	۱۷/۳۳	۱۶/۹۳	-۰/۷۹	-۰/۹۲
۳	۲۰۳۰۰	S, S6, SI2	۳۲/۵۹	۱۵/۶۲	-۰/۷۹	-۰/۹۳
۴	۱۲۰۶۵۰	B1, B6, S1, SI	۳۰/۰۶	۱۰/۷۶	-۰/۸۲	-۰/۹۶
۵	۵۳۰۱۳۰	B1, B3, B6, S1, SI	۲۹/۲۹	۹/۴۳	-۰/۸۳	-۰/۹۷
۶	۱۷۷۰۱۰۰	B1, B6, B7, BI, S1, SI	۲۹/۳۸	۸/۹۷	-۰/۸۳	-۰/۹۷
۷	۴۸۰۰۷۰۰	B1, B6, B7, B8, BI, S1, SI	۲۹/۳۷	۸/۷۷	-۰/۸۳	-۰/۹۷
۸	۱۰۸۱۰۵۷۵	B1, B4, B6, B7, B8, BI, S1, SI	۲۹/۳۷	۸/۸۱	-۰/۸۳	-۰/۹۷
۹	۲۰۴۲۰۹۷۵	B1, B4, B6, B7, B8, BI, RDVI, S1, SI	۲۹/۳۶	۸/۸۷	-۰/۸۳	-۰/۹۷
۱۰	۳۰۲۶۸۰۷۶۰	B4, B5, B6, B7, NDSI, RDVI, RVI, SI1, SI2, SI3	۳۱/۵۷	۸/۹۸	-۰/۸۱	-۰/۹۷
۱۱	۴۰۴۵۷۰۴۰۰	B1, B3, B4, B6, B8, BI, RDVI, RVI, S1, S2, SI	۲۹/۱۲	۹/۱۶	-۰/۸۳	-۰/۹۷
۱۲	۵۰۲۰۰۰۳۰۰	B2, B3, B4, B5, B6, BI, NDSI, NDVI, RVI, S, SI2, SI3	۳۶/۷۶	۸/۵۰	-۰/۸۱	-۰/۹۸
۱۳	۵۰۲۰۰۰۳۰۰	B1, B3, B4, B6, B8, BI, NDSI, NDVI, RDVI, RVI, S1, S2, SI	۲۹/۱۰	۹/۴۸	-۰/۸۳	-۰/۹۷
۱۴	۴۰۴۵۷۰۴۰۰	B1, B3, B4, B6, BI, NDSI, NDVI, RVI, S1, S2, S5, SAVI, SI1, SI3	۲۸/۲۱	۱۱/۲۱	-۰/۸۴	-۰/۹۷
۱۵	۳۰۲۶۸۰۷۶۰	B1, B3, B4, B6, B8, NDSI, NDVI, RVI, S, S1, S2, S3, S5, SI1, SI2	۵۰/۳۳	۱۰/۳۲	-۰/۸۵	-۰/۹۶
۱۶	۲۰۴۲۰۹۷۵	B1, B3, B4, B5, B6, B8, BI, NDSI, NDVI, RVI, S1, S2, S5, SI, SI2, SI3	۲۸/۰۵	۱۱/۲۱	-۰/۸۵	-۰/۹۶
۱۷	۱۰۸۱۰۵۷۵	B1, B3, B4, B5, B6, B8, BI, NDSI, NDVI, RDVI, RVI, S1, S2, S5, SI, SI2, SI3	۲۸/۰۱	۱۲/۲۷	-۰/۸۵	-۰/۹۶
۱۸	۴۸۰۰۷۰۰	B1, B4, B5, B6, B7, B8, BI, NDSI, NDVI, RVI, S, S1, S2, S5, SAVI, SI, SI2, SI3	۲۷/۷۱	۱۶/۰۲	-۰/۸۵	-۰/۹۳
۱۹	۱۷۷۰۱۰۰	B1, B3, B4, B5, B6, B7, B8, BI, NDSI, NDVI, RDVI, RVI, S, S1, S2, S5, SI, SI2, SI3	۲۵/۲۰	۱۹/۰۰	-۰/۸۷	-۰/۹۰
۲۰	۵۳۰۱۳۰	B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, BI, NDSI, NDVI, RDVI, RVI, S, S1, S2, S5, SI, SI2, SI3	۲۶/۲۸	۲۶/۵۱	-۰/۸۶	-۰/۸۱
۲۱	۱۲۰۶۵۰	B1, B2, B3, B4, B5, B7, B8, BI, NDSI, NDVI, RDVI, RVI, S, S1, S5, SAVI, SCI, SI, SI1, SI2, SI3	۱۷/۶۱	۳۹/۷۰	-۰/۹۴	-۰/۵۸
۲۲	۲۳۰۰	B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, BI, NDSI, NDVI, RDVI, RVI, S, S1, S6, SAVI, SCI, SI, SI1, SI2, SI3	۱۹/۴۶	۴۲/۷۸	-۰/۹۲	-۰/۵۱
۲۳	۳۰۰	B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, BI, NDSI, NDVI, RDVI, RVI, S, S1, S2, S3, SAVI, SCI, SI, SI1, SI2, SI3	۱۵/۹۲	۴۹/۵۸	-۰/۹۵	-۰/۳۵
۲۴	۲۵	B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, BI, NDSI, NDVI, RDVI, RVI, S, S1, S2, S3, S5, SAVI, SCI, SI, SI1, SI2, SI3	۱۴/۴۱	۱۴۵/۷۷	-۰/۹۶	-۴/۶۱
۲۵	۱	B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, BI, NDSI, NDVI, RDVI, RVI, S, S1, S2, S3, S5, S6, SAVI, SCI, SI, SI1, SI2, SI3	۱۴/۳۰	۰۳e+۷/۶	-۰/۹۶	-۱/۵ +۰۴e

شکل (۵)، روند تغییرات RMSE نمونه‌های ارزیابی را با افزایش تعداد متغیرهای مدل رگرسیون خطی چندمتغیره نشان می‌دهد که بهترین RMSE متعلق به مدل رگرسیون خطی ۱۲ و ۷ متغیره است که با لحاظ RMSE نمونه‌های آموزشی، رگرسیون ۷ متغیره به‌عنوان بهترین مدل معرفی شده است.



شکل ۵. نمودار تغییرات RMSE نمونه‌های ارزیابی در مقابل تعداد متغیرهای مدل رگرسیون خطی چندمتغیره

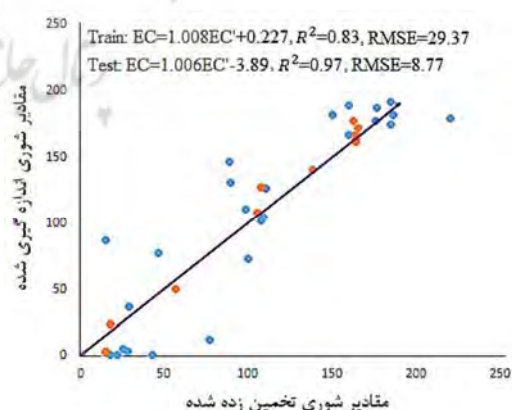
۴-۳- بحث و مقایسه مدل‌های رگرسیون خطی تک‌متغیره و چندمتغیره

مدل‌های رگرسیون خطی تک‌متغیره با در نظر گرفتن ارتباط بین مقادیر هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه با باندهای طیفی تصویر سنتینل و شاخص‌های شوری خاک مستخرج از تصویر، تعیین مورد بررسی قرار گرفتند. در نهایت، مدلی جهت تعیین نقشه شوری خاک انتخاب شد که بیشترین ضریب R^2 و کمترین مقدار RMSE ارزیابی را فراهم کرده است. نتایج ارزیابی مدل‌های رگرسیون خطی تک‌متغیره در جدول (۳) نشان می‌دهد که از بین باندهای طیفی و شاخص‌های شوری خاک، به ترتیب باند 8a و شاخص BI بهترین مدل‌های رگرسیون خطی تک‌متغیره به‌منظور تخمین شوری خاک هستند. ضریب R^2 و RMSE برآورد شده بر اساس نمونه‌های ارزیابی برای باند 8a و شاخص BI به ترتیب مقادیر ۰/۸۷ و ۰/۸۳ و ۲۰/۵۸ و ۲۵/۸۶ می‌باشد. همانگونه که از جدول (۳)

همانطور که از جدول (۴) مشخص است، در بین تمامی مدل‌های مورد بررسی، مدل رگرسیون خطی ۱۲ و ۷ متغیره با لحاظ پارامترهای ارزیابی صحت (RMSE و R^2 نمونه‌های ارزیابی) در بین سایر مدل‌ها به ترتیب با داشتن خطای RMSE نمونه‌های ارزیابی برابر ۸/۷۷ و ۸/۵۰ بالاترین صحت را در تخمین شوری خاک ارائه کرده‌اند. لازم به ذکر است که با در نظر گرفتن پارامترهای دقت مدل (RMSE و R^2 نمونه‌های آموزشی)، می‌توان رگرسیون خطی ۷ متغیره را بهترین مدل در تخمین شوری خاک در نظر گرفت. رابطه (۷)، مدل رگرسیون خطی ۷ متغیره در تخمین شوری را نشان می‌دهد. در شکل (۴)، اسکاتر پلات مدل رگرسیونی خطی ۷ متغیره برازش یافته بر ۲۸ نمونه آموزشی و ۱۰ نمونه ارزیابی ارائه شده است.

$$EC' = 1.524 \times B1 + 0.142 \times B6 - 0.675 \times B7 - 0.016 \times B8a + 0.996 \times BI - 602.90 \times S1 - 2.284 \times SI + 467.413$$

به‌طور خلاصه مدل رگرسیون خطی ۷ متغیره پیشنهادی، در بین ۳۳.۵۵۴.۴۳۱ مدل مورد بررسی، بهترین نتایج را ارائه کرده و نسبت به بهترین رگرسیون خطی تک‌متغیره، سبب افزایش ۹ درصدی در R^2 و کاهش ۵۸ درصدی خطای RMSE در تخمین شوری خاک شده است.



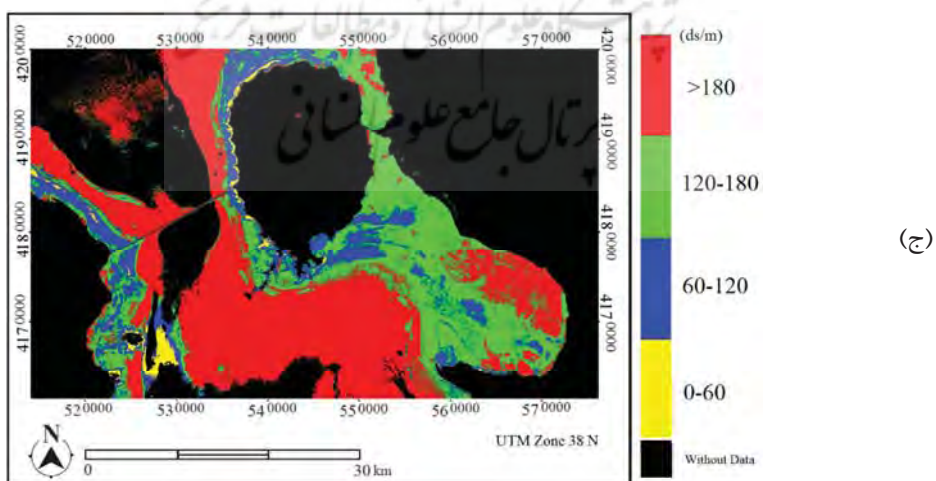
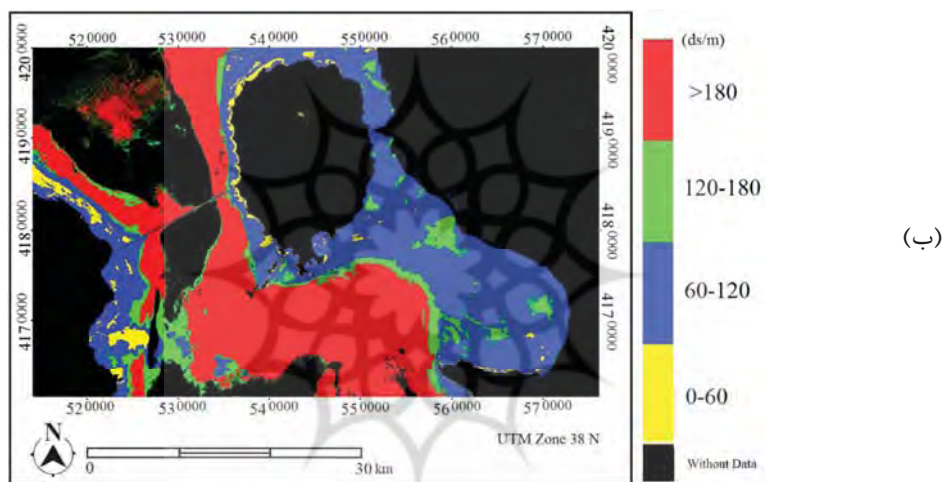
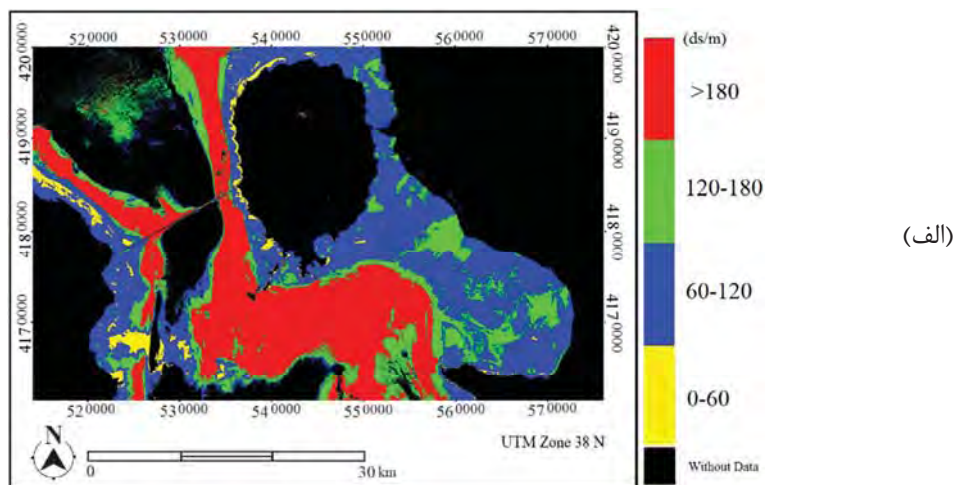
شکل ۴. مدل رگرسیون خطی ۷ متغیره پیشنهادی برازش یافته بر ۲۸ نمونه آموزشی و ۱۰ نمونه ارزیابی

درصدی در R^2 و کاهش ۵۸ درصدی خطای RMSE در تخمین شوری خاک شده است. جدول (۵)، مقایسه جامعی از نتایج روش پیشنهادی (رگرسیون خطی چندمتغیره) با بهترین رگرسیون‌های خطی تک متغیره را بر اساس پارامترهای R^2 و RMSE را نشان می‌دهد. پس از تعیین دقیق بهترین مدل‌های رگرسیون خطی، برای هر دو روش تک‌متغیره و مدل پیشنهادی چند متغیره، نقشه‌های شوری خاک تهیه شد. بر اساس نقشه‌های شوری خاک، میزان شوری منطقه بین ۰ تا بالای ۱۸۰ دسی زیمنس بر متر متغیر است. نقشه‌های شوری خاک به ۵ کلاس شوری ۰-۶۰، ۶۰-۱۲۰، ۱۲۰-۱۸۰ و بیشتر از ۱۸۰ دسی زیمنس بر متر طبقه‌بندی شدند. شکل (۶)، نقشه‌های شوری خاک حاصل از باند 8a، شاخص شوری BI و مدل رگرسیون خطی ۷ متغیره پیشنهادی را نشان می‌دهد. نتایج به‌دست آمده از نقشه‌های شوری خاک، بیانگر میزان شوری بالا در منطقه مورد مطالعه است به‌طوری که بخش وسیعی از منطقه دارای شوری بالاتر از ۶۰ دسی زیمنس بر متر است که از دلایل آن می‌توان به کاهش حجم آب دریاچه ارومیه و خشکسالی آن طی سال‌های اخیر اشاره کرد.

مشخص است، شاخص طیفی گیاهی همبستگی بسیار پایینی با شوری خاک دارد. علت آن را می‌توان به پوشش بسیار کم موجود در منطقه نسبت داد. در این پژوهش، مدل پیشنهادی مبتنی بر رگرسیون‌های خطی چند متغیره، به‌منظور بهبود تخمین شوری خاک ارائه شده است. در این روش، برعکس مدل‌های رگرسیون تک‌متغیره، از پتانسیل متنوع باندهای طیفی یا شاخص‌های شوری خاک به‌طور همزمان در تخمین شوری خاک استفاده می‌شود. از آنجا که در این پژوهش، ۲۵ متغیر (باندهای طیفی/ شاخص‌های شوری خاک) استفاده شده است، می‌توان با استفاده از رابطه (۶) تعداد کل $33.554.431$ مدل رگرسیون خطی چندمتغیره طراحی نمود. چنانچه از جدول (۴) مشخص است، مدل‌های رگرسیون خطی ۷ و ۱۲ متغیره به ترتیب با ضرایب R^2 و RMSE، 0.97 و 0.98 و $8/77$ و $8/50$ در نمونه‌های ارزیابی، بهترین مدل‌ها در تخمین شوری خاک بوده‌اند. نتایج حاصل از بهترین مدل‌های رگرسیون خطی تک‌متغیره و چندمتغیره، بیانگر قابلیت بالای مدل‌های رگرسیون خطی چندمتغیره در تخمین شوری خاک هستند، به‌طوری‌که این مدل‌ها، سبب افزایش ۹

جدول ۵. مقایسه نتایج تخمین شوری خاک به روش رگرسیون خطی ۷ متغیره پیشنهادی و بهترین رگرسیون‌های خطی تک‌متغیره.

مدل رگرسیون	بهترین باند طیفی / شاخص شوری خاک	مدل تخمین شوری خاک	RMSE		R^2	
			آموزشی	ارزیابی	آموزشی	ارزیابی
خطی تک متغیره	باند طیفی 8a	$EC' = 0.0348 \times \text{Band } 8a - 19.93$	۳۴/۰۲	۲۰/۸۵	۰/۷۸	۰/۸۸
	شاخص شوری BI	$EC' = 0.0231 \times BI - 17.46$	۳۵/۳۱	۲۵/۸۶	۰/۷۶	۰/۸۳
خطی چند متغیره	B1, B6, B7, B8, BI, S1, SI	$EC' = 1.524 \times B2 + 0.142 \times B7 - 0.675 \times B8 - 0.016 \times B8a + 0.996 \times SI - 602.90 \times S2 - 2.284 \times SCI + 467.413$	۲۹/۳۷	۸/۷۷	۰/۸۳	۰/۹۷



شکل ۶. نقشه‌های شوری خاک حاصل از: الف) رگرسیون خطی تک‌متغیره، باند 8a، ب) رگرسیون خطی تک‌متغیره، شاخص شوری BI، ج) رگرسیون خطی ۷ متغیره پیشنهادی.

۴- نتیجه گیری

مسئله شوری خاک، در سال‌های اخیر به یک بحران اساسی در مناطق خشک و نیمه‌خشک تبدیل شده است. کشور ایران نیز به سبب اقلیم خاص خود از این مسئله مستثنی نبوده و مناطق وسیعی تحت تاثیر افزایش شوری خاک قرار گرفته است. خشک شدن دریاچه ارومیه در سال‌های اخیر شوره‌زارهای وسیعی را در سراسر منطقه به وجود آورده است و علی‌رغم ضرورت مطالعات این مسئله، اطلاعات صحیحی از وسعت، توزیع و غلظت شوری خاک منطقه در دسترس نیست. روش‌های سنتی تخمین شوری خاک نیز، به دلیل تغییرپذیری مکانی و زمانی آن امری دشوار و پرهزینه بوده و در سال‌های اخیر فناوری سنجش از دور به علت سرعت بالا، دقت قابل توجه، هزینه پایین‌تر و تداوم در مشاهدات، توانسته است به‌عنوان روشی کارآمد در تخمین شوری خاک معرفی شود. روش‌های متنوعی نیز در این زمینه توسعه داده شده است که از جمله می‌توان به تکنیک متداول و کارآمد رگرسیون خطی اشاره کرد. بررسی‌ها نشان می‌دهد صحت تخمین شوری خاک با تصاویر سنجش از دور، وابستگی بالایی به شرایط حاکم بر مسئله دارد به طوری که داده‌های یکسان و روش‌های مدل‌سازی مشابه می‌تواند در شرایط مختلف به نتایج متفاوت و حتی متناقضی منجر شود. تحقیق حاضر به منظور (۱) بهبود تخمین شوری خاک با پیشنهاد مدل رگرسیون خطی چندمتغیره، (۲) بررسی قابلیت تصاویر چند طیفی سنتینل 2B در تخمین شوری خاک، (۳) تعیین بهترین باند طیفی و شاخص شوری در تخمین شوری خاک در شوره‌زارهای دریاچه ارومیه و (۴) تهیه نقشه شوری خاک در منطقه مورد مطالعه انجام گرفت. در این پژوهش، به منظور بهبود تخمین شوری خاک روش رگرسیون خطی چند متغیره پیشنهاد شده و به‌طور عملی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این تحقیق، بیانگر قابلیت بالای مدل‌های رگرسیون خطی چندمتغیره و همچنین تصویر چند طیفی سنتینل در تخمین شوری خاک در منطقه مورد

مطالعه است. روش چندمتغیره پیشنهادی، سبب افزایش ۹ درصدی در R^2 و کاهش ۵۸ درصدی خطای RMSE در تخمین شوری خاک شده است. با تعیین بهترین باندهای طیفی و شاخص‌های شوری در تخمین شوری خاک (باند 8a و شاخص شوری BI در مدل رگرسیون خطی تک متغیره و مدل رگرسیون خطی ۷ متغیره) و مدل‌های رگرسیون خطی متناظر آن‌ها، نقشه‌های شوری خاک همه منطقه، تهیه شد که اطلاعات ارزشمندی از موقعیت، وسعت، توزیع، تراکم و غلظت نمک در این شوره‌زارها ارائه می‌دهد. با توجه به دقت بالای این روش و پتانسیل بالای تصاویر سنتینل و سهولت دسترسی به تصاویر این سنجنده می‌توان در دوره‌های زمانی منظم نقشه شوری خاک در این منطقه را تهیه و مورد بررسی قرار داد. پیشنهاد می‌شود به منظور بهبود نتایج تخمین شوری خاک در تحقیقات آتی، از تکنیک‌های بهینه‌سازی و استنتاج فازی استفاده شود.

۵- منابع

- پیشنماز احمدی، م.، رضایی مقدم، م. و فیضی زاده، ب.، ۱۳۹۶، **بررسی شاخص‌ها و تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از داده‌های سنجش از دور (مطالعه موردی: دلتای آجی چای)**، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال هشتم، شماره اول، صص. ۹۵-۸۵.
- حبشی، خ.، کریم زاده، ح.، پورمنافی، س.، ۱۳۹۶، **ارزیابی شوری خاک در شرق اصفهان بر پایه داده‌های سنجنده OLI و تجزیه و تحلیل عوارض توپوگرافی**، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال هشتم، شماره اول، صص. ۵۱-۳۶.
- Aghakouchak, A., Norouzi, H., Madani, K., Mirchi, A., Azarderakhsh, M., Nazemi, A., Nasrollahi, N., Farahmand, A., Mehran, A. & Hasanzadeh, E., 2014, **Aral Sea syndrome desiccates Lake Urmia: Call for action**, Journal of Great Lakes Research, 41(1); 307-311.

- Akramkhanov, A. & Vlek, P.L.G., 2011, **The Assessment of Spatial Distribution of Soil Salinity Risk Using Neural Network**, Environmental Monitoring and Assessment, 184(4) : 2475–2485.
- Alesheikh, A.A., Ghorbanali, A. & Nouri, N., 2007, **Coastline Change Detection Using Remote Sensing**, International Journal of Environmental Science & Technology, 4(1): 61–66.
- Allbed, A. & Kumar, L., 2013, **Soil Salinity Mapping and Monitoring in Arid and Semi-Arid Regions Using Remote Sensing Technology: A Review**, Advances in Remote Sensing, 02(04): 373–385.
- Allbed, A., Kumar, L. & Aldakheel Y.Y., 2014, **Assessing Soil Salinity Using Soil Salinity and Vegetation Indices Derived from IKONOS High-Spatial Resolution Imageries: Applications in a Date Palm Dominated Region**, Geoderma, 230–231: 1–8.
- Asfaw, E., Suryabhagavan, K.V. & Argaw, M., 2018, **Soil Salinity Modeling and Mapping Using Remote Sensing and GIS: The Case of Wonji Sugar Cane Irrigation Farm, Ethiopia**, Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 17(3): 250–258
- Bannari, A., Guedon, A.M., El Harti, A., Cherkaoui, F.Z. & El-Ghmari, A., 2008, **Characterization of Slightly and Moderately Saline and Sodic Soils in Irrigated Agricultural Land Using Simulated Data of Advanced Land Imaging (EO - 1) Sensor**, Communications in Soil Science and Plant Analysis, 39(19-20): 2795–2811.
- Cai, S., Zhang, R., Liu, L. & Zhou, D., 2010, **A Method of Salt-Affected Soil Information Extraction Based on a Support Vector Machine with Texture Features**, Mathematical and Computer Modelling, 51(11–12): 1319–1325.
- Chatziantoniou, A., Psomiadis, E. & Petropoulos, g., 2017, **Co-Orbital Sentinel 1 and 2 for LULC Mapping with Emphasis on Wetlands in a Mediterranean Setting Based on Machine Learning**, Remote Sensing, 9(21), 1259.
- Csillag, F., Pásztor, L. & Biehl, L., 1993, **Spectral Band Selection for the Characterization of Salinity Status of Soils**, Remote sensing of environment, 43(3): 231–42.
- Dehaan, R. & Taylor, G., 2002, **Field-Derived Spectra of Salinized Soils and Vegetation as Indicators of Irrigation-Induced Soil Salinization**, Remote sensing of Environment, 80(3): 406–17.
- Douaoui, A.E.K., Nicolas, H. & Walter, C., 2006, **Detecting Salinity Hazards within a Semiarid Context by Means of Combining Soil and Remote-Sensing Data**, Geoderma, 134: 217–230.
- Eldeiry, A.A. & Garcia, L.A., 2010, **Comparison of Ordinary Kriging, Regression Kriging, and Cokriging Techniques to Estimate Soil Salinity Using LANDSAT Images**, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 136(6): 355–364.
- Elhag, M., 2016, **Evaluation of Different Soil Salinity Mapping Using Remote Sensing Techniques in Arid Ecosystems, Saudi Arabia**, Journal of Sensors, 1-8.
- Emadi, M. & Baghernejad, M., 2014, **Comparison of Spatial Interpolation Techniques for Mapping Soil PH and Salinity in Agricultural Coastal Areas , Northern Iran**, Archives of Agronomy and Soil Science, 60(9): 1315–1327.
- Fan, X., Pedroli, B., Liu, G., Liu, Q., Liu, H. & Shu, L., 2012, **Soil salinity development in the yellow river delta in relation to groundwater dynamics**, Land Degradation & Development, 23(2): 175-189.
- Fathi, M. & Rezaei, M., 2013, **Soil Salinity in the Central Arid Region of Iran : Esfahan Province, Development in Soil Salinity Assessment and Reclamation**, Springer, Dordrecht, PP. 141-153.
- Gorji, T., Sertel, E. & Tanik, A., 2017, **Monitoring Soil Salinity via Remote Sensing Technology under Data Scarce Conditions: A Case Study from Turkey**, Ecological Indicators 74: 384–391.
- Ji, L., Zhang, L. & Wylie, B., 2009, **Analysis of Dynamic Thresholds for the Normalized**

- Difference Water Index**, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 75(11): 1307–1317.
- Khan, N.M., Rastoskuev, V.V., Sato, Y. & Shiozawa, S., 2005, **Assessment of Hydrosaline Land Degradation by Using a Simple Approach of Remote Sensing Indicators**, Agricultural Water Management, 77: 96–109.
- Mahmoudabadi, E., Karimi, A., Haghnia, G.H. & Sepehr, A., 2017, **Digital Soil Mapping Using Remote Sensing Indices, Terrain Attributes and Vegetation Features in the Rangelands of Northeastern Iran**, Environmental Monitoring and Assessment, 189: 500–520.
- Morgan, R.S., Abd El-Hady, M. & Rahim, I.S., **Soil Salinity Mapping Utilizing Sentinel-2 and Neural Networks**, Agricultural Research Communication Center., 316: 1–6.
- Navarro, G., Caballero, I., Silva, G., Parra, P.-C. & Vázquez, A., Caldeira, R., 2017, **Evaluation of Forest Fire on Madeira Island Using Sentinel-2A MSI Imagery**, International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation, 58: 97–106.
- Nawar, S., Buddenbaum, H., Hill, J. & Kozak, J., 2014, **Modeling and Mapping of Soil Salinity with Reflectance Spectroscopy and Landsat Data Using Two Quantitative Methods (PLSR and MARS)**, Remote Sensing, 6(11): 10813–10834.
- Rahmati, M., Mohammadi-Oskoei, M., Neyshabouri, M.R., Fakheri-Fard, A., Ahmadi, A., Walker, J., 2015, **ETM + Data Applicability for Remote Sensing of Soil Salinity in Lighvan Watershed, Northwest of Iran**, Current Opinion in Agricultural, 3(1): 10–13.
- Rhoades, J.D., Shouse, P.J., Alves, W.J., Manteghi, N. & Lesch, S.M., 1990, **Determining Soil Salinity from Soil Electrical Conductivity Using Different Models and Estimates**, Soil Science Society of America Journal, 54: 46–54.
- Huete, A.R., 1988, **A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)**, Remote Sensing of Environment, 25(3): 295–309.
- Scudiero, E., Skaggs, T.H. & Corwin, D.L., 2015, **Regional-Scale Soil Salinity Assessment Using Landsat ETM + Canopy Reflectance**, Remote Sensing of Environment, 169: 335–343.
- Sidike, A., Zhao, S. & Wen, Y., 2014, **Estimating Soil Salinity in Pingluo County of China Using QuickBird Data and Soil Reflectance Spectra**, International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation, 26: 156–175.
- Taghizadeh Mehrjardi, R., Mahmoodi, Sh., Taze, M. & Sahebjalal, E., 2008, **Accuracy Assessment of Soil Salinity Map in Yazd-Ardakan Plain, Central Iran, Based on Landsat ETM + Imagery**, American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, 3(5): 708–712.
- Toming, K., Kuster, T., Laas, A., Sepp, M., Paveel, B. & Nöges, T., 2016, **First Experiences in Mapping Lake Water Quality Parameters with Sentinel-2 MSI Imagery**, Remote Sensing, 8(8): 640–654.
- Wang, X., Zhang, F., Ding, J., Kung, H.T., Latif, A. & Johnson, V.C., 2018, **Science of the Total Environment Estimation of Soil Salt Content (SSC) in the Ebinur Lake Wetland National Nature Reserve (ELWNNR), Northwest China, Based on a Bootstrap-BP Neural Network Model and Optimal Spectral Indices**, Science of the Total Environment, 615: 918–30.
- Wu, W., Mhaimeed, A.S., Al-Shafie, W.M., Ziadat, F., Dhehibi, B., Nangia, V. & Pauw, E.D., 2014, **Mapping Soil Salinity Changes Using Remote Sensing in Central Iraq**, Geoderma Regional, 2-3: 21–31.
- Yong-ling, W., Peng, G. & Zhi-liang, Z., 2010, **A Spectral Index for Estimating Soil Salinity in the Yellow River Delta Region of China Using EO-1 Hyperion Data**, Pedosphere, 20(3): 378–388.
- Zhang, T.T., Qi, J.G., Gao, Y., Ouyang, Z.T., Zeng, S.L. & Zhao, B., 2015, **Detecting Soil Salinity with MODIS Time Series VI Data**, Ecological Indicators, 52: 480–489.



نشر از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال یازدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۸
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.11, No. 4, Winter 2020

101-120

Estimating soil salinity in the dried lake bed of Urmia Lake using optical Sentinel-2B images and multivariate linear regression models

Farahmand, N.^{1*}, Sadeghi, V.², Farahmand, S.³

1. MSc student of Remote Sensing, Surveying Eng. Department, Faculty of Civil Eng., Tabriz University
2. Assistant Professor, Surveying Eng. Department, Faculty of Civil Eng., Tabriz University
3. Ph.D. of Organic Chemistry, Faculty of Chemistry, Esfahan University of Technology

Abstract

In this study, processing and interpretation methods in remote sensing such as visual and spectral analysis have been performed on the EO-1, ASTER and ETM+ data from Meshkinshahr North area, and as a result, the alteration zones in the area have been identified. Then result Aeromagnetic data, using geological information, alteration and mineralization from the area. Development of advanced tools in remote sensing and geophysical exploration during recent decades indicates the necessity and importance of these tools in industry. For this purpose, a variety of image processing methods are used Aeromagnetic methods have an important role for exploration of metallic ore deposits. To achieve good results from these methods. In order to identify alteration zones, image processing methods such as PCA (principal component analysis), SAM (spectral angle mapping) and MTFM (Matched Filtering MF) using ENVI software were applied on the Hyperion EO-1, ASTER and ETM+ images from the study area. After removal of the noise from observed magnetic data, processing steps were considered, including IGRF subtraction for the proper years, reduction to pole, Signal Analytic, Tilt (TDR), THDR, and upward continuation 1000 meters. Identification of alteration zones in the study area using remote sensing and image processing methods, and interpretation of the geophysical Aeromagnetic results using geological and Mineralization and Hot Springs and Faults information in the area have been led to the identification of Alteration zone. Many Anomaly and Alterations Kaolinite and silica located in the Meshkinshahr north area (northwest Sabalan) and the other many situated in the northwest Sarab. For credibility of results, samples were taken and analyzed by XRD methods. Confirmed the results of remote sensing and aeromagnetic processes. Conclusions of this research revealed that applying concurrency both the remote sensing and aeromagnetic data could be led to improve the precision of the results.

Keywords: Hyperspectral, Aster, Spectral Angle Mapping, Alteration, Magnetometric, Tilt Angle

Correspondence Address: Tabriz, Tabriz University, Surveying Eng. Department, Faculty of Civil Eng, postal Code: 5166616471

Email: Nesa.Farahmand1990@gmail.com